磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中的应用研究

■ 张静[1,2] 王梦瑶[1,2] 单嵩岩[1,2] 潘亚男[1,2,3]
[1] 中国科学院档案馆 北京 100190 [2] 中国科学院文献情报中心 北京 100190
[3] 中国科学院大学经济管理学院图书情报与档案管理系 北京 100190

摘 要：[目的/意义]存储载体的选择是数字档案资源长期保存的关键问题，磁光电混合存储是一种集磁存储、光存储和电存储的优点于一体的存储方式，探索其在数字档案资源长期保存中的应用具有较强的理论研究意义和实践指导价值。[方法/过程]通过对当前数字资源和数字档案长期保存研究现状的总结，提出载体选择是数字档案资源长期保存中的重要问题；梳理数字档案资源长期保存载体的相关标准、实践应用、常用载体适用性以及性能需求；介绍并分析磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中的优势；以中国科学院档案馆的应用为案例，介绍磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中的应用探索。[结果/结论]尽管磁光电混合存储尚存在标准不完善、软硬件仍需改善等不足之处，但其具有绿色节能、总体拥有成本低、存储寿命长、安全可靠、支持多种备份模式等多方面的优势，是符合数字档案资源特性和长期保存需求的最佳选择。

关键词：数字档案资源 长期保存 磁光电混合存储
分类号：G273.2
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2020.20.010

档案资源的长期保存一直是档案部门和档案工作关注的重点。纸质载体时代，人们对档案资源长期保存关注的重点是纸张耐久性、字迹材料耐久性以及库房管理“八防”[1]等方面。随着移动互联、云计算、大数据等信息技术的飞速发展和国家大数据发展战略、“互联网+”行动计划的推进，海量的电子文件和数字化图像数据等成为新时期档案工作的重点管理对象。数字档案资源作为国家机构、社会组织和个人在社会活动过程中形成的具有一定价值的各类数字记录[2]，如何有效地实现其长期保存成为档案工作中十分紧迫和重要的问题。

1 研究现状

国内外关于数字资源长期保存的理论研究和实践探索已较为成熟，并取得了较为丰富的成果。国际标准组织(ISO)、美国、英国、澳大利亚等国际组织或国家相关研究机构、联盟都制定了数字资源长期保存标准。中国国家科技图书文献中心(National Science and Technology Library, NSTL)的国家数字科技文献长期保存示范系统(National Digital Preservation Program, NDPP)项目，以及美国的“国家数字信息基础设施和保存计划”(National Digital Information Infrastructure and Preservation Program, NDIIPP)等项目也都形成了大量可资借鉴的成果。

近几年国内关于数字档案长期保存的研究也逐渐开始融入数字资源长期保存研究范畴，当前学术研究主要集中于以下几方面：①关于长期保存目标的研究。如张美芳提出真实性、永久性、有效性、安全性和通用性是电子文件长期保存的目标[3]；②关于长期保存技术策略的研究。常用的技术策略包括保存原始技术环境、仿真、数据更新、迁移、封装技术、元数据保存、标准化、数据恢复以及再生性保护等[4-6]，钱毅、刘力超提出了通过ODBC实现集中归档、采用SIARD等格式进行XML封装，基于OAIS技术框架开展数据库文件的长期保存[7]；③关于长期保存法规标准的研究。国内关于数字档案长期保存标准的研究较丰富，有从总体上对我国电子文件长期保存规范的研究[8]，也有就保存格式标准[9]、系统标准[10]、管理标准[11]等具体标准

作者简介：张静(ORCID:0000-0002-5827-7139)，中国科学院档案馆副馆长，副研究馆员，博士研究生；王梦瑶(ORCID:0000-0002-2259-8969)，助理馆员，硕士；单嵩岩(ORCID:0000-0002-0405-5725)，助理馆员，硕士；潘亚男(ORCID:0000-0002-7380-8655)，中国科学院文献情报中心副主任，中国科学院档案馆馆长(兼)，研究馆员，硕士生导师，通讯作者，Email:ynpan@mail.las.ac.cn。
收稿日期：2020-03-29 修回日期：2020-06-17 本文起止页码：89-95 本文责任编辑：杜杏叶

进行的探讨;④关于长期保存格式的研究。如钱毅提出电子档案长期保存格式的选择需考虑:符合既有需求或指南要求,环境适应性强,标准化基础高,且具备自描述、自包含与自校验等核心功能[12];⑤关于长期保存元数据模型的研究。刘越男、杨建梁提出构建包括文件、技术环境、责任主体、业务、法规标准五个实体在内的面向电子文件保存的统一元数据模型[13];⑥关于长期保存中新技术应用的探讨。如杨静、殷建琳探讨了云存储技术的应用[14],刘越男、吴云鹏探讨了区块链技术应用到长期保存的优势、不足及风险,并提出要解决的关键问题[15]。

整体来看,数字档案资源作为数字资源的重要组成部分,其长期保存与其他数字资源的长期保存一样涉及政策法规、技术、存储载体、存储格式和软硬件基础设施等多方面的问题。这些问题中,政策法规和存储格式问题是相对独立的。而存储载体的选择则在一定程度上决定了需要相应配套的安全管理制度要求、基础设施建设需求,以及建设和运维的总体拥有成本,因此在实践应用过程中,数字档案资源长期保存实践中首先需要根据需求明确存储载体的选择,这也是很多学者们关注的问题。赵伟东从寿命、总体拥有成本、防篡改、数据可读性、节能等方面对磁带、硬盘和蓝光光盘进行比较,提出档案级蓝光光盘是电子档案存储最理想的载体[16];白云认为考虑到档案馆经费问题,DVD光盘是数字档案长期保存的最优载体选择[17];蒋术提出要从存储载体本身、存储技术、环境保护、管理制度和标准规范五个方面综合考虑存储载体的长期保存[18]。可见,现有研究多是集中于探讨一种载体在数字档案长期保存中的适用性。实践中,档案部门还是更多的以异地异质备份[19]的方式来保证数据可用。

实际上,一方面根据利用情况,数字档案资源可分为热数据、温数据和冷数据,且热、温、冷数据的划分并非一成不变,会随着利用需求的变化而变化;另一方面与其他数字资源不同,数字档案资源的长期保存必须确保其原始记录性,因此长期保存的安全性、可靠性问题就显得尤为重要。因此,单一存储载体很难同时兼顾数字档案资源利用需求和长期保存需求,这种情况下探讨两种或多种载体在数字档案资源长期保存中的混合使用是十分必要的。本文拟通过对数字档案资源长期保存载体选择现状的梳理、存储载体适用范围的分析,以及磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中的优势分析,提出以光介质为主,磁/电介质为辅的磁光电混合存储,是符合数字档案资源特性和长期保存需求的最佳选择。

2 数字档案资源长期保存载体选择

2.1 数字档案资源长期保存存储载体性能需求分析

为了确保数字档案资源的唯一原始性、完整有效性,其长期保存存储载体需要满足长期可靠、防篡改、极端条件下数据可留存和运维成本可持续等需求。因此在存储载体的主要性能指标中,数字档案资源长期保存从高到低的需求依次为:寿命[20]、防篡改安全性[21]、总体拥有成本[16]、读取速度[22]和容量[23]。

存储载体寿命的长短是影响长期保存的首要因素,寿命越长,越能减少由于数据迁移带来的各种风险;安全性是其次要考虑的性能,从硬件层面拥有防篡改性能有利于数字档案资源的安全管理;总体拥有成本一定程度上是影响长期保存策略能否长期可持续的关键因素,只有相对较低的总体拥有成本才能满足数字档案资源不断增长的需求。与此同时,为了满足档案利用的需求,对较为活跃的档案数据需要有较快的读取速度;而载体容量越大,对载体本身的管理难度就会相应降低。

2.2 相关标准要求

国际上,各国政府或档案部门主要通过制定相应指南来规范数字档案载体的选择。如新西兰国家档案馆2020年2月发布了《数字存储和保存最佳实践指南》,该文件从宏观层面作出原则性规定,提出数字信息和文件存储主要有三种方式:①在线存储,如云存储;②离线存储,如磁带、CD、DVD、存储卡、闪存驱动器(U盘)等移动存储介质;③近线存储,如本地磁带库或云存储。具体到组织机构如何选择存储方式和载体应就其存储需求咨询IT专家[24]。

我国《电子文件归档与电子档案管理规范》(GB/T18894-2016)提出宜采用磁带进行电子档案近线备份与灾难备份,应采用一次写光盘、磁带、硬磁盘等作为离线存储介质[25]。行业标准《城市轨道交通工程文件归档要求与档案分类规范》(DA/T66-2017)提出采用离线归档方式的电子文件应采用一次写光盘、磁带、硬磁盘等进行存储[26]。此外,《数码照片归档与管理规范》(DA/T50-2014)中推荐采用硬磁盘、磁带和一次写光盘作为数码照片档案长期保存的存储载体[27]。

2.3 实践应用情况

实践中,与相关标准要求一致,光盘、磁盘和磁带是数字档案资源长期存储选择的主要载体。以我国省级、副省级档案馆为例,调查结果显示,接受调查的23

个省级档案馆和 11 个副省级档案馆在选择电子档案存储载体时,78% 的档案馆选用了光盘,其中有 5 家采用了 JVC 档案级光盘;74% 的档案馆选择磁盘和(或)磁盘阵列作为电子档案存储载体,采用磁带和(或)磁带库的档案馆占 52%[28]。而国外主要选择磁带和光盘作为数字档案长期保存的存储载体。美国国家档案与文件署在电子文件档案馆(ERA)成为电子文件长期保存的主要环境之前所产生的数字档案资源仍然是以磁带和光盘作为存储载体[29]。

整体来看,受到成本和管理便利性的影响,当前数字档案资源长期保存实践是以光介质中的 DVD 和磁介质作为主要存储载体的,多类存储载体的选择也主要是用于异质备份。

2.4 常用存储载体及其适用性分析

当前较为成熟的存储载体包括光介质(DVD、蓝光光盘等)、磁介质(硬磁盘、磁带等)、电介质(固态硬盘)和缩微胶片等。不同的常用存储载体在总体拥有成本、防篡改安全性、寿命、容量和读取速度等存储载体的主要性能指标上各有特点,适合存储的数据类型也各有侧重(见表 1)。整体来看,蓝光光盘是最适合海量不经常访问的数字档案资源长期存储的介质,但是其访问速度慢、单张光盘容量小等问题依然会在实践中给数据恢复、载体管理带来较多问题。

表 1 常用存储载体主要性能指标比较及其适合存储数据类型

载体类型	性能指标					
	寿命	防篡改安全性	总体拥有成本	读取速度	容量	适合存储的数据类型
硬磁盘	较短	不高	较高	快	大	较小体量活跃数据
磁带	较长	高	较低	慢	大	海量不经常访问的数据
DVD 光盘	较短	较高	低	慢	小	小体量不经常访问的数据
蓝光光盘	较长	高	较低	慢	较小	海量不经常访问的数据
固态硬盘	较短	不高	高	快	较小	小体量的最活跃数据
缩微胶片	较长	高	较低	慢	大	除声像类电子档案的永久保存(可替代原件)

随着存储技术的进步,各种存储载体的容量和安全性都在不断提升、成本也在不断下降,但对海量数字档案资源的长期保存来说,单一种类的存储介质仍难以形成寿命、防篡改、总体拥有成本、读取速度和容量间相对均衡的选择,而以蓝光光盘为主,集成磁存储和电存储的磁光电混合存储的发展则为数字档案资源长期保存实践带来了新的发展契机。

3 磁光电混合存储及其在数字档案资源长期保存中的优势

3.1 磁光电混合存储介绍

磁光电混合存储是指包含光介质,以及磁、电中的至少一种存储介质,通过软件统一管理,对外提供统一存储空间和统一的文件访问的标准接口。其原理是将数据按热度分类存储在固态硬盘(SSD)、硬磁盘(HDD)和光盘库中,SSD 或 HDD 阵列组成数据缓冲区,提供高 I/O(Input/Output)带宽和高可扩展性,光盘库提供数据安全可靠低耗的长期存储,且数据随热度变化可以在三者之间实现智能化迁移,是目前综合性能最好的存储技术[30]。

磁光电混合存储系统功能的关键技术涉及到存储系统结构和软件两个方面。其中,存储系统结构部分目前应用最广泛的是分级存储技术[31],软件部分涉及到的关键技术有数据热度分类和更新[30]、数据检测策略、数据迁移策略[32]等,各关键技术的主要作用概述如表 2 所示:

表 2 磁光电混合存储关键技术及其作用

关键技术	作用
分级存储	将数据存放在不同级别的存储设备中:光盘库存放冷数据,磁盘或磁盘阵列存储温数据,固态硬盘和内存保存热数据
数据热度分类和更新	依据数据创建时间、访问频率、最后访问时间或响应时间等科学合理判断数据热度
数据检测策略	定期自动检测介质性能、数据安全完整性,并自动进行增量备份和必要的数据恢复
数据迁移策略	以热点划分为依据,根据算法确定数据块级、文件级或区级的最佳待迁集合,以尽量减少对系统性能影响,再进行迁移[32]

3.2　磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中的优势

综上所述,磁光电混合存储在数字档案资源长期保存中具有较为明显的优势,包括以下几点:

(1)绿色节能,具有较低的总体拥有成本。由于光存储对环境的依赖性较小,当前仍是总体拥有成本较低的存储介质。以蓝光光盘为主的磁光电混合存储系统能够有效减少长期保存系统运维过程中的资源消耗。

(2)较长的存储寿命。采用寿命至少为 30 年的档案级蓝光光盘,能够最大限度减少数字档案资源迁移频次,降低长期保存中由于数据迁移而带来的数据完整性风险、时间和成本损耗。

(3)安全可靠,可以从硬件层面防篡改。蓝光光盘采用一次性刻录[33]模式刻录可以从硬件层面防止数据篡改,更大限度保证数字档案资源的原始性与完整有效性。

(4)一定程度上解决了光存储的存取和访问速度慢、容量小的问题。当用户查询档案时,光盘中的冷数据能根据数据迁移策略自动迁移到固态硬盘等在线存储设备中,能够较好地满足用户及时响应的需求;同时,存储空间的统一自动化管理,使得单张光盘容量较小的问题不会被用户感知。

(5)支持多种备份模式。如采用单张光盘存储备份,能够使单张光盘中的数据相对完整,具有较强的自我证明特性,能有效提高极端条件下数据留存且可用的概率;RAID 备份,能够增强存储空间的统一利用效率,满足日常条件下的数据自动检测与恢复。

因此,这种以光介质为主,磁/电介质为辅的磁光电混合存储,是符合数字档案资源特性和长期保存需求的最佳选择。

3.3　磁光电混合存储应用情况

磁光电混合存储能够安全、海量、高效、绿色地存储冷数据的优点,使得其逐渐开始得到应用。在档案界,中国易华录[34]研发了光磁一体存储云平台,自 2016 年以来在天津、重庆、成都等 15 个城市打造存储容量大、扩展灵活、安全性高、保存时间长、能耗低的城市数据湖。2018 年紫晶存储推出了基于光存储的智能分层产品,将磁光电融合,通过分层技术,把冷、温、热数据放到不同的介质上,减少总存储成本和能耗,并在湖南省档案馆数字化建设中得到应用[35],采用光盘库自动管理和人工移动片匣相结合的方式来兼容近线存储和离线存储,为磁光电混合存储在档案行业的实践应用做出了有益探索。中国科学院档案馆(以下简称"中科院档案馆")也在 2014 年选取蓝光光盘作为馆藏数字档案资源异质备份介质的基础上,于 2018 年形成了基于磁光电混合存储的数字档案资源长期保存的整体规划,以进一步发挥磁光电混合存储的优势,并针对极端条件下数据尽量留存、蓝光光盘载体规模化管理和数字档案资源质量检测等问题,提出了有针对性的解决措施,并逐步开展相关实践。

4　中国科学院档案馆磁光电混合存储应用实践

中国科学院(以下简称"中科院")档案馆是集中永久保存全院系统各类重要档案的基地,接收全院 120 多个院属单位产生、归档的经鉴定、整理后将需永久保存的不同门类、不同载体的档案。中科院作为国家在科学技术方面的最高学术机构和全国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心,决定了中科院档案资源以来源于国家科技重大专项、国家重大科技基础设施等项目的科技档案为主,涉及基础学科和应用学科的实验数据、试验数据、监测数据、测试数据、观测视频和设计图等文件,包含文本、图像、图形、音视频等类型(包含 PDF、JPEG、WAV、AVI、STEP 等格式)。而科技档案作为重大科技成果不可或缺的组成部分,是科技、生产活动中直接形成的真实记录,能够为科学研究、维权举证、产品生产、设备使用维护管理等提供真实依据,是国家的重要战略科技资源,其长期保存具有重要意义。

4.1　整体规划

基于前述论证,中科院档案馆选用了磁光电混合存储作为数字档案资源长期保存的存储载体,并在此基础上进行了整体规划。根据国家相关要求,以保障数字档案资源真实、完整、可用、安全为出发点,遵循统筹规划、分步实施、需求导向、确保安全的原则,经过充分调研分析,确定了以数字档案资源建设为基础,采用标准化和封装技术策略,从制度规范建设、基础设施建设和应用系统建设等方面结合数字档案馆建设开展基于磁光电混合存储的数字档案资源长期保存实践的整体规划(见表 3)。其中,根据数字档案资源管理流程进行存储区设计,以及长期保存系统设计是确保混合存储优势得到充分发挥,并最终能够实现长期保存总体目标的重点。

4.2　存储区设计

磁光电混合存储数字档案资源长期保存系统是数字档案馆建设的重要组成部分,需要对数字档案资源收集、管理、保存和利用流程(见图 1)进行统筹考虑,

表 3 中科院档案馆数字档案资源长期保存整体规划

建设项目	具体内容
制度规范建设	文书、科研、照片、录音录像、名人档案等元数据方案
	长期保存格式标准(归档格式、长期保存格式)
	数字档案资源备份和安全管理规范
基础设施建设	VPN 隔离网络环境
	磁光电混合存储硬件设备(作为主存储的光存储区域,含有光盘检测光驱的光驱组、光存储阵列以及相关控制和操作设备;作为缓存区域的电磁存储区,包括固态硬盘、SAS 磁盘;作为控制区域的服务器等控制设备;以及 VPN、路由器等网络设备)
应用系统建设	数据质量检测工具("四性"检测)
	光盘等存储介质检测软件
	磁光电混合存储数字档案资源长期保存系统

与综合档案管理系统进行无缝衔接,确保数字档案资源按照统一的标准在混合存储区中不同介质间进行存储、备份和迁移,并在不同应用系统间的有效应用,真正发挥其多介质混合存储的优势。

磁光电混合存储区中不同的存储载体将满足不同的数据存储与档案工作业务需求:①基于光存储区域设计搭建"冷"数据存储,用于全部数字档案资源的长期存储,保障全部馆藏数字档案资源的长期保存与必要的数据恢复;②基于磁盘阵列设计搭建"温存储"设备的计算集群,有效支撑综合档案管理系统的 CCD 成像、OCR 识别、数据清洗, 并支持未来知识服务系统中

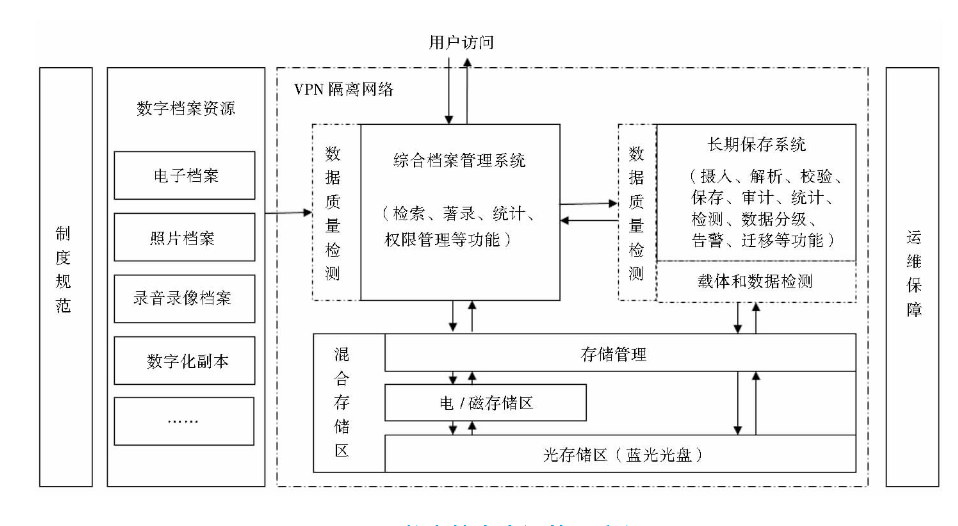


图 1 数字档案资源管理流程

基于 GPU 大数据挖掘分析计算等的分析业务;③基于高速 RAM 与 SSD 搭建"热存储",支撑综合档案管理系统 INDEX 索引,实现实时、高速的数据检索和查询;有效支撑 WEB 档案管理服务、借阅服务、业务审批管理服务等业务。

4.3 系统功能设计

磁光电混合存储数字档案资源长期保存系统覆盖了数字档案资源长期保存的全流程,如摄入、解析、校验、保存、检测、审计、统计分析等。其核心功能包括以下 4 个方面:

(1)在数据管理方面,系统具备全局性数据管理、数字档案资源热度分类和分级存储功能,满足数据查询和数据恢复需求:①支持多种数据分级管理策略。数据热度分级遵守整体访问频次/时间两种策略,即根据用户自定义的访问频次和最新时间范围阈值,整体访问频次较高的数据或最新被访问的数据均存储在电/磁存储区;同时支持用户将指定数据直接写入电/磁存储区或光存储区;②支持全局性数据管理。统一用户目录视图,在满足多种存储介质迁移、大文件分散存储一体化管理需求的基础上,在用户检索和利用过程中对不同存储区的数据进行统一管理。

(2)根据数字档案资源长期保存需求,光存储区域同时支持两种数据存储方式:①采用 RAID 7 技术,支撑档案馆光盘 FILES 系统数据存储,有效利用光存储容量,满足通常条件下的数据恢复需求;②采用单张蓝光光盘数据封装策略,提升单张蓝光光盘的自我证明特性,提升极端条件下档案数据留存率和可用性。

(3)在数据质量控制方面,系统集成数字档案资源质量检测工具,满足对数字档案资源真实性、完整性、可用性和安全性等方面共 60 余条规则的检测需求,保证了数字档案资源在数据迁移、数据恢复和长期保存过程中的安全可靠。

(4)在载体管理方面,系统集成存储载体自动检测功能,满足蓝光光盘规模化管理需求。系统能够部

署蓝光光盘检测任务,利用闲时时间,通过与蓝光光盘检测光驱配合批量自动进行蓝光光盘随机误码率(RS-ER)、极值突发误码串长度总数(BE Sum)和不可纠正错误(UE)等表征蓝光光盘寿命终止的技术指标[36]的检测,并生成检测报告,发出数据迁移需求警告。

总体来看,中科院档案馆磁光电混合存储系统具有寿命较长、安全性较高、总拥有成本较低、容量可扩展、操作自动化程度较高等优势,多存储介质及数据分级管理也保障了读取速度适中,能够满足未来一段时期馆藏数字档案资源长期保存实际需求且具有较高的可持续性。

5　展望

磁光电混合存储技术在理论和实践层面都取得了较大发展,但当前仍存在着标准尚不完善、数据分级技术通用化和智能化不够和单张光盘容量仍然较小等问题。这些问题在一段时期内都将是档案界和产业界需要共同探索和进一步研究的重要方向。

数字档案资源作为国家和社会的宝贵财富,其长期保存是必须要解决的重要问题,选择适合数字档案资源属性和特点的存储载体就是其中的关键问题之一。磁光电混合存储技术的进步,为数字档案资源的长期保存提供了新思路和新契机。与此同时,我们也应认识到磁光电混合存储技术在数字档案资源长期保存中应用尚处于起步阶段,未来仍有很长的路要走。

参考文献:

[1] 张美芳,唐跃进. 档案保护概论[M]. 北京:中国人民大学出版社,2013:23,59,327.
[2] 倪代川. 数字档案资源概念探析[J]. 档案管理,2017(4):35 - 39.
[3] 张美芳. 基于可持续发展的电子文件长期保存的策略研究[J]. 数字与缩微影像,2007(4):25 - 28.
[4] 连成叶. 论数字信息档案长期安全保存策略[J]. 档案学通讯,2004(3):34 - 38.
[5] 张美芳. 电子文件迁移措施的研究[J]. 档案学通讯,2006(1):68 - 71.
[6] 孙悦. 电子文件长期保存技术策略及其选择[J]. 黑龙江档案,2018(5):85.
[7] 钱毅,刘力超. 数据库电子文件归档与长期保存技术路径研究[J]. 档案学研究,2017(4):67 - 72.
[8] 钱毅. 我国可信电子文件长期保存规范研究[J]. 档案学通讯,2014(3):75 - 79.
[9] 高婷. 电子文件长期保存格式标准研究[D]. 武汉:武汉大学,2018.
[10] 钱毅. OAIS 对数字档案馆系统技术路线和管理策略的启示[J]. 档案学研究,2009(4):46 - 49.
[11] 安小米. 基于 ISO 15489 的文件档案管理核心标准及相关规范[M]. 北京:中国标准出版社,2008.
[12] 钱毅. 基于长期保存视角的电子档案格式管理研究[J]. 档案学通讯,2016(6):52 - 57.
[13] 刘越男,杨建梁. 面向电子文件保存的统一元数据模型的构建[J]. 中国图书馆学报,2017,43(2):66 - 79.
[14] 杨静,殷建琳. Hadoop 云存储技术在电子档案长期保存中的应用研究[J]. 档案与建设,2015(12):22 - 25.
[15] 刘越男,吴云鹏. 基于区块链的数字档案长期保存:既有探索及未来发展[J]. 档案学通讯,2018(6):44 - 53.
[16] 赵伟东. 电子档案蓝光存储应用探究[J]. 档案学研究,2015(3):88 - 95.
[17] 白云. 基于长期保存的数字档案存储载体[J]. 黑龙江档案,2014(6):68.
[18] 蒋术. 我国数字档案存储载体长期保存研究[J]. 出版发行研究,2016(2):89 - 93.
[19] 许桂清. 电子档案异地异质备份现状及应对[J]. 档案学研究,2018(1):82 - 88.
[20] 颜晓栋. 电子文件的长期保存研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
[21] 李丛卫. 基于长期保存的数字档案存储载体选择研究[D]. 北京:中国人民大学,2012.
[22] 写入速度和读取速度分别是指什么[EB/OL]. [2020 - 03 - 09]. http://ask.zol.com.cn/x/6140124.html.
[23] 张美芳. 信息记录与存储技术[M]北京:中国人民大学出版社,2007:228.
[24] Archives New Zealand. Best practice guidance on digital storage and preservation[EB/OL]. [2020 - 05 - 29]. https://archives.govt.nz/manage-information/resources-and-guides/operational/best-practice-guidance-on-digital-storage-and-preservation.
[25] 中国国家标准化管理委员会. 电子文件归档与电子档案管理规范: GB/T18894 - 2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:9.
[26] 国家档案局. 城市轨道交通工程文件归档要求与档案分类规范:DA/T 66 - 2017[S/OL]. [2020 - 03 - 03]. http://www.saac.gov.cn/daj/hybz/201806/e5b7710af8a04a77a514afe581b63d5c/files/7f9cba046b264fa69948d93f2d5916c5.pdf.
[27] 国家档案局. 数码照片归档与管理规范:DA/T 50 - 2014[S/OL]. [2020 - 03 - 05]. http://www.saac.gov.cn/daj/hybz/201806/316aa112d3d849c3b3ec4393b0b0ef14/files/fa9e9daf28b94a18883db0c4eb2870f8.pdf.
[28] 刘越男,祁天娇. 我国省级、副省级档案馆电子文件接收及管理情况的追踪调查[J]. 档案学通讯,2014(6):10 - 15.
[29] 祁天娇. 美国数字档案资源长期保存战略的分析与启示[J]. 档案学研究,2019(1):108 - 113.
[30] 吴晨雪,胡巧,赵苗,等. 磁光电混合存储技术研究综述[J]. 激光与光电子学展,2019,56(7):39 - 52.
[31] 舒继武. 分级存储与管理[J]. 中国教育网络,2007(7):70 - 72.
[32] 祝青,李小勇. 混合存储综述[J]. 微型电脑应用,2013,29(2):

33-38.
[33] 邢涛. 光盘载体档案保管现状分析及策略研究[J]. 档案天地, 2017(1):54-56.
[34] 中国智能化产业与产品网. 孙建宏:《城市数据湖,激发数据智能的实践之路》[EB/OL]. [2020-03-05]. http://www.ciiip.com/news-13553-13597.html.
[35] 紫晶存储. 紫晶存储为湖南省档案馆数字化建设提供稳固基础设施[EB/OL]. [2020-03-05]. http://www.amethystum.com/article/30.html.
[36] 国家档案局. 电子档案存储用可录类蓝光光盘(BD-R)技术要求和应用规范:DA/T 74-2019[S/OL]. [2020-05-30]. http://www.saac.gov.cn/daj/hybz/201903/46c3b37764814570a83b43891fb639e3/files/6be1b6b5ff744dfa9a2d5e0345cadd03.pdf.

作者贡献说明:
张静:拟定论文大纲,提出主要观点,修改论文;
王梦瑶:起草论文初稿,查找资料;
单嵩岩:起草论文初稿,查找资料;
潘亚男:提出论文思路,审改定稿。

Research on Application of Magnetic-Optical-Electric Hybrid Storage Technology in Long-term Preservation of Digital Archival Resources

Zhang Jing[1,2] Wang Mengyao[1,2] Shan Songyang[1,2] Pan Yanan[1,2,3]
[1] Archives of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190
[2] National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190
[3] Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract: [**Purpose/significance**] The choice of storage carrier is the key issue for long-term preservation of digital archival resources. Magnetic-optical-electric hybrid storage technology combines advantages of magnetic storage, optical storage and electric storage. Exploring the application of this technology in the long-term preservation of digital archival resources creates great value in theoretical research and practical guidance. [**Method/process**] Based on the summary of the current research status of long-term preservation of digital archival resources, this paper proposed that carrier selection is an important issue in the long-term preservation of digital archival resources; combing the relevant standards, practical applications, common carrier suitability and performance requirements of long-term preservation of digital archival resources; introduced and analyzed the advantages of magnetic-optical-electric hybrid storage technology in long-term preservation of digital archival resources; and taking the application of Archives of Chinese Academy of Sciences as an example, this paper introduced the application and exploration of magnetic-optical-electric hybrid storage in long-term preservation of digital archival resources. [**Result/conclusion**] Although magnetic-optical-electric hybrid storage has shortcomings such as incomplete standards, as well as software and hardware that need to be improved, it has many advantages such as green energy saving, low Total Cost of Ownership, long storage life, safety and reliability, and supporting for multiple backup modes. It is the best choice to meet the characteristics of digital archival resources and long-term preservation requirements.

Keywords: digital archival resources　long-term preservation　magnetic-optical-electric hybrid storage